

**EVALUACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO EN ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE LA
RESERVA NATURAL BANCO TOTUMO BIJIBANA EN EL MUNICIPIO DE
REPELÓN, ATLÁNTICO**

JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ REBOLLEDO

FERNAN DAVID ZABALA SIERRA



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
DEPARTAMENTO CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BARRANQUILLA, COLOMBIA**

2020

**EVALUACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO EN ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE LA
RESERVA NATURAL BANCO TOTUMO BIJIBANA EN EL MUNICIPIO DE
REPELÓN, ATLÁNTICO**

Para optar al título de Ingeniero Ambiental

Grupo de investigación en Desarrollo Agroindustrial Sostenible (GIDAS)

Línea de Investigación: Sistemas de Producción Sostenible

TESISTAS:

JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ REBOLLEDO

FERNAN DAVID ZABALA SIERRA

DIRECTORA:

Eliana Andrea Martínez Mera

MSc. Ciencias Agronómicas

CO-DIRECTORA:

Ana Carolina Torregroza Espinosa

MSc. Acuicultura y Ecología Acuática

UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC

Departamento Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2020

Nota de Aceptación.

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, 2020

Dedicatoria

*A **Dios** todopoderoso por llevarnos de la mano en este camino de aprendizaje, sabiduría y esfuerzo. Por regalarnos fuerza en momentos donde faltaban.*

*A mis padres, **Jenny Rebolledo Morelo** y **Juan Carlos Rodriguez Castaño**, que sin sus sacrificios, consejos y amor no sería una persona íntegra y capaz. A mi hermana **Daniella Rodriguez Rebolledo**, por ser mi compañera de siempre.*

*A mis abuelos y familiares que siempre están para mí tanto en necesidad como en saciedad, a mi abuela **Leyla Alcira Castaño de Rodriguez**, quien en su enfermedad me llenó de alegría, ánimos y esperanzas, esto es para ella.*

*A mis tutoras, **MSc Eliana Andrea Martínez Mera** y **MSc Ana carolina Torregroza Espinosa** por tanta guía, paciencia, comprensión, profesionalismo y fé.*

*A todas aquellas personas que me acompañaron en el proceso de esta investigación, **Fernan Zabala**, **Marielena Duran**, **William Zapata**, **Ana Villalobos** y **Erika Arbeláez**, por hacer más fáciles todas las horas de arduo trabajo con su compañía y con su experimentada guía.*

Juan Sebastián Rodriguez Rebolledo.

Dedicatoria

*A **Dios** por darnos salud y sabiduría en esta etapa académica.*

*A mi familia comenzando por mis padres **Fernan Zabala Pineda** y **Clara Sierra Mojica** por todo su esfuerzo, sacrificios y valores que me han servido de ejemplo para afrontar toda mi carrera universitaria, a mis hermanos **Rafael**, **Claudia** y **Martha**, cada uno por poner su granito de arena para ayudarme a llegar hasta este punto.*

*A mis tutoras de proyecto **MSc Eliana Andrea Martínez Mera** y **MSc Ana carolina Torregroza Espinosa** por toda su colaboración, paciencia, guía y sabios consejos a lo largo del proyecto que nos permitieron culminarlos.*

*A las analistas del laboratorio **Anita Villalobos** y **Erika Arbeláez** por hacer nuestra vida mucho más fácil el tiempo en que realizamos las pruebas y ensayos.*

*A mis compañeros y amigos **Juan Sebastián Rodríguez Rebolledo**, **William Zapata Erazo** y **Marielena Duran Castiblanco** por todo el acompañamiento, comprensión y sabiduría compartida a lo largo de la investigación y carrera universitaria.*

Fernan David Zabala Sierra.

Resumen

El municipio de Repelón alberga una de las cinco áreas protegidas del departamento del Atlántico, la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana. En el bosque las actividades antropogénicas en conjunto con cambios climáticos generaron un incendio forestal en el año 2014 causando alteraciones en todo el ecosistema. En este contexto, el presente estudio evaluó la salud del suelo mediante las características fisicoquímicas y biológicas. El diseño metodológico consistió en seleccionar 20 puntos de muestro a dos profundidades (0-30 cm para la caracterización fisicoquímica y de 0-10 cm para los análisis microbiológicos). Se encontró que la textura del suelo fue franco-limosa con un color marrón oscuro (5 YR y 7.5 YR); niveles bajos de MO (0.703%) y N total (0.035%). Mientras que, P (62.12 mg/Kg), CIC (57.36 meq/100 g) y humedad (34.05%) mostraron niveles altos. Los suelos fueron no salinos (0.754 ppm). Por otra parte, en la actividad microbiológica, se encontró que la respiración basal (0.12 Kg/ha/d) y mineralización de nitrógeno (5.61 Kg/ha) presentaron valores bajos. Aunque el suelo presenta algunas características óptimas para el desarrollo de las plantas, los parámetros de MO y N total afectan la salud biológica del suelo. Teniendo en cuenta que estos son fundamentales para el funcionamiento de la microbiota en sistema edáfico, se requiere recuperar la biología del suelo. La estrategia consiste en mejorar el desarrollo del sistema edáfico mediante la instalación de biomallas, reforestación de especies nativas, señalización y monitoreos. De igual manera, vincular a la comunidad con campañas de concientización, jornadas de educación ambiental e implementación de medidas de prevención contra actividades antrópicas que afectan el funcionamiento del ecosistema.

Palabras clave: respiración basal, salud del suelo, actividad microbiana, características fisicoquímicas

Abstract

The municipality of Repelon is home to one of the five protected areas of the Atlantic Department, the Banco Totumo Bijibana Nature Reserve. In the forest anthropogenic activities in conjunction with climate change led to a forest fire in 2014, causing alterations to the entire ecosystem. In this context, the present study assessed soil health using physicochemical and biological characteristics. The methodological design consisted of selecting 20 sampling points at two depths (0-30 cm for physicochemical characterization and 0-10 cm for microbiological analysis). It was found that a silt loam soil with a dark brown colour (5 YR and 7.5 YR); low levels of MO (0.703%) and total N (0.035%) were found. While P (62.12 mg/kg), CIC (57.36 meq/100 g) and humidity (34.05%) showed high levels. The soils were non-saline (0.754 ppm). On the other hand, in microbiological activity, basal respiration (0.12 Kg/ha/d) and nitrogen mineralization (5.61 Kg/ha) were found to have low values. Although the soil presents some optimal characteristics for plant development, the parameters of MO and N total affect the biological health of the soil. Taking into account these are fundamental for the operation of the microbiota in the edaphic system, it is necessary to recover the soil biology. The strategy consists of improving the development of the edaphic system through the installation of bi-meshes, reforestation of native species, signaling and monitoring. Likewise, link the community with awareness campaigns, environmental education sessions and implementation of prevention measures to avoid anthropic activities that affect the functioning of the ecosystem.

Keywords: basal respiration, soil health, microbial activity, physicochemical characteristics

Contenido

Lista de tablas y figuras	10
Introducción	11
Descripción del problema	13
Justificación	14
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Marco teórico	17
Parámetros fisicoquímicos del suelo	17
Textura.....	17
Color	18
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	18
Nitrógeno (N)	19
Fósforo (P).....	21
Materia orgánica (MO).....	22
Carbono orgánico (CO)	23
pH	24
Salinidad	25
Humedad del suelo	26

Actividad microbiológica del suelo	27
Respiración basal	27
Mineralización del N	28
Estado del arte	29
Diseño metodológico	33
Resultados	46
Discusión	52
Conclusiones	57
Referencias	59

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Clasificación de capacidad de intercambio catiónico en el suelo	19
Tabla 2. Rango para la clasificación del nitrógeno total en el suelo.....	21
Tabla 3. Rango para la clasificación del fósforo en el suelo	22
Tabla 4. Rango para la evaluación del contenido de materia orgánica.....	23
Tabla 5. Clasificación del pH.....	24
Tabla 6. Clasificación de la salinidad en el suelo	26
Tabla 7. Rangos para interpretar la humedad equivalente (IGAC).	27
Tabla 8. Índices generales para clases de respiración del suelo y estado del suelo.....	43
Tabla 9. Clasificación de los suelos con base al contenido de nitrógeno mineralizado.	45
Tabla 10. Propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes puntos de muestreo.....	47
Tabla 11. Resultados de respiración del suelo y N mineralizado.	48

Figuras

Figura 1. Triángulo de textura. Tomado de: (FAO, 2019).....	17
Figura 2. Reserva Banco Totumo Bijibana, municipio de Repelón, Atlántico.....	34
Figura 3. Montaje de trampas de álcali.	42
Figura 4. Mapa de contorno de la densidad de masa mineral del suelo (g/cm ³).....	44

Introducción

El suelo es un componente esencial del ambiente, vulnerable y de difícil recuperación, por lo que se considera un recurso natural no renovable. Se encuentra constituido por factores abióticos como minerales, aire, agua, materia orgánica y, factores bióticos representados por macro, meso y microorganismos (Dorronsoro, 2007). Además, es un recurso indispensable y determinante para la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, a través del soporte y la regulación de nutrientes, y por sus numerosos servicios ecosistémicos, dentro de los que se puede mencionar su papel en la regulación climática global y regional, la purificación del aire, la captura de CO₂, el soporte y mantenimiento de la biodiversidad. De igual manera, es la base para el desarrollo de la sociedad a través de las actividades agrícolas, la producción de alimentos, fibras, medicinas y bioenergía (MADS, 2018).

El principal servicio ambiental del suelo es el aporte de nutrientes a las plantas, mediante la interacción con factores biótico, los elementos son transformados en formas disponibles. Este servicio se ha visto afectado a nivel mundial por fuentes naturales y antrópicas que producen degradación, erosión, sellamiento de suelos, contaminación, pérdida de la materia orgánica, salinización, compactación y desertificación. Lo anterior es debido principalmente al uso de agroquímicos en las diferentes actividades agropecuarias, la ganadería intensiva, la sobreexplotación de suelos y los incendios de la cobertura vegetal (SIAC, 2012).

En este sentido, el efecto de las actividades antropogénicas también afecta la biología del suelo debido a que un suelo con un alto contenido de materia orgánica presenta actividad microbiana. La estimación de la dinámica de biota microbiana puede ser evaluada mediante la respiración microbiana. Este, es un proceso por el cual, a través de los procesos metabólicos microbianos, el suelo libera carbono, parámetro que se asocia con materiales orgánicos y hace

posible la medición de la respiración del suelo. Para la evaluación de la salud del suelo es necesario disponer de indicadores que permitan determinar la calidad ambiental a largo plazo y determinar acciones de manejo (Bone *et al.*, 2010; Corpoguavio, 2017). De igual manera, para determinar la salud del suelo puede ser utilizado como indicador la cantidad del nitrógeno orgánico edáfico que puede ser metabolizado por la actividad microbiana a formas inorgánicas solubles (NH_4^+ y NO_3^-) (Galvis & Hernández, 2004), los cuales son compuestos que pueden ser fijados por las arcillas del suelo o por la materia orgánica, volatilizado como amoníaco y asimilado directamente por plantas o microorganismos (Philippot & Germon, 2005).

Desde el punto de vista agrícola y ambiental, la salud del suelo está directamente relacionada con la interacción de los ciclos biogeoquímicos y el funcionamiento del ecosistema, debido a que promueven el desarrollo de las plantas y coadyuvan con la calidad ambiente (Haruna & Nkongolo, 2013). A través de las propiedades biológicas se logra tener un indicador claro de la salud del suelo, ya que los organismos transforman residuos orgánicos en materia orgánica, suprimen plagas y/o enfermedades generadas por otros organismos que interactúan en el sistema edáfico (Intagri, 2018). A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica del sustrato, se incrementa la disponibilidad de nutrientes debido a que los nutrientes en exceso (N, P, S) son liberados en formas fácilmente asimilables por las plantas (FAO, 2017)

En este contexto, la pérdida o disminución de la materia orgánica en el suelo es el reflejo de poca actividad biológica de microorganismos edáficos. Adicionalmente, genera efectos negativos en las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como erosión, falta de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación y compactación, reflejadas en la baja fertilidad del suelo (Horneck, 2015).

En el municipio de Repelón, las actividades antropogénicas en conjunto con condiciones climáticas de la región se han generado afectaciones en los ecosistemas. La Reserva Natural Banco Totumo Bijibana en el año 2014 fue afectada por un incendio forestal, causando alteración en la microbiota del suelo. Por lo tanto, esta investigación evaluó las variables fisicoquímicas, la actividad microbiológica y el nitrógeno mineralizado del suelo como indicadores para estimar la calidad biológica del suelo.

Descripción del problema

El suelo es un componente del sistema ecológico, se considera como la interfaz entre el aire y el agua. Proporciona nutrientes, agua y el soporte físico necesarios para el crecimiento vegetal y la producción de biomasa, por lo cual desempeña un papel fundamental como fuente de alimentación para los seres vivos (Bernad *et al.*, 2007). Su gran importancia se debe a que está ligado a actividades antrópicas como agricultura, ganadería, industrialización, minería y urbanización que generan distintos tipos de alteraciones en los suelos, causando contaminación, a través de la acumulación de sustancias tóxicas en concentraciones que superan el poder de amortiguación natural del mismo y que modifican negativamente sus propiedades (Haruna & Nkongolo, 2013). En este sentido, la interacción de los factores naturales y antrópicos son las responsables de los cambios negativos en las propiedades del suelo.

Como consecuencia de estas alteraciones, se origina un deterioro de la capacidad del suelo para mantener la actividad biológica, perdiendo parcial o totalmente su productividad (Macías, 1993). Debido a que, los cambios en el uso del suelo influyen en el contenido de materia orgánica, la cual es responsable de la productividad del suelo ya garantiza hábitat, fuente

de carbono y energía para la biomasa microbiana, encargada de controlar gran parte de los procesos que involucran la transformación y ciclos de nutrientes (Chocano *et al.*, 2008).

En Colombia, particularmente en los municipios del sur del Atlántico se han identificado eventos ambientales y antrópicos que posiblemente han estado asociados con los cambios en la calidad del suelo. En el Municipio de Repelón, en el año 2014 se presentó un incendio forestal el cual afectó 30 ha de la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana. El incendio se debió a las actividades de quema no controlada y la escasez de lluvias (El Heraldó, 2014). Esta problemática se encuentra contextualizada entre las causantes del deterioro mundial del suelo (FAO, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, la medición de indicadores de calidad del suelo se ha convertido en una herramienta para estimar el nivel de degradación de este (Vallejo-Quintero, 2013). Por lo tanto, la presente investigación se plantea el siguiente interrogante: ¿Cuál es el estado de la salud del suelo teniendo en cuenta los indicadores físicos, químicos y microbiológicos de la reserva Banco Totumo Bijibana (Repelón)?.

Justificación

El suelo es el pilar de un amplio rango de funciones ecosistémicas que proveen servicios esenciales a las comunidades. En ecosistemas naturales, estas funciones y servicios son impulsados por la energía generada de la transformación del carbono debido a la actividad biológica del suelo, una parte de este elemento es devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas (Kibblewhite *et al.*, 2008). Así mismo, la actividad microbiana se correlaciona con la salud del suelo y las funciones ecosistémicas, por ejemplo, la descomposición de materia orgánica, el ciclo de nutrientes, la descontaminación de suelos y la

supresión de agente patógenos. Los organismos presentes en el suelo son muy sensibles ante los cambios que se puedan presentar en las propiedades fisicoquímicas producto de la condición climática, y el uso y manejo del suelo (Doran & Zeiss, 2000).

Uno de los principales intereses a nivel mundial es el resguardo y la recuperación de los recursos naturales, entre estos, el sistema edáfico. Los suelos con fines de obtener producción agropecuaria han sido permanentemente utilizados y en algunos casos sobreexplotados o subutilizados (Aguilera, 2000). En la región Caribe, el 73% del suelo tiene conflictos por el uso del suelo, representado por un 24% de sobreutilización y un 49% de subutilización. Esta problemática, es ocasionada por el uso inadecuado y las malas prácticas en el aprovechamiento de este recurso (IGAC, 2014).

Debido a lo anterior, es importante el mantenimiento de la fertilidad del suelo ya que garantizan los hábitats terrestres adecuados para mantener poblaciones de organismos edáficos y consecuentemente del funcionamiento de los ecosistemas (Acuña *et al.*, 2006). El interés por el estudio de la calidad del suelo ha aumentado ante el crecimiento de la población estimada para el año 2050, donde la producción agrícola debe aumentar en un 70%. Por este motivo, los agricultores deben implementar buenas prácticas agrícolas que puedan reconstruir o salvaguardar la salud de suelo (Celaya & Castellanos, 2011; Intagri, 2018).

Aunque la calidad del suelo no puede medirse directamente para determinar la salud del suelo, se evalúa la relación entre los parámetros biológicos, químicos y físicos (Enriqueta, 2005). A partir de la interacción entre estos componentes se puede determinar los factores que afectan la actividad microbiana y mediante la metodología de incubaciones en el laboratorio se estima la producción de CO₂ como resultado de la actividad biológica de los microorganismos del suelo. Factores que mantienen una relación muy estrecha entre la actividad biológica y la fertilidad del

suelo (Jiménez & González, 2006). Consecuentemente, la evolución de CO₂ del suelo es una medida de la actividad biológica total del suelo y, por lo tanto, ha sido propuesta como indicador para la salud edáfica (Ajwa, Dell, & Rice, 1999).

Considerando la importancia de la salud del suelo como componente del ecosistema, que la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana, ubicada en municipio de Repelón presenta una zona de importancia ecológica donde se alberga flora y fauna silvestre, y debido a factores antrópicos y ambientales estos han presentado alteraciones, resulta de gran importancia evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como indicadores de la salud edáfica, con el fin de conocer su estado actual y proponer estrategias para su conservación.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo como indicador de la salud edáfica en la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana del municipio de Repelón en el departamento del Atlántico.

Objetivos Específicos

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo y su influencia con la actividad microbiológica edáfica en la zona de estudio.
- Evaluar la respiración basal microbiana edáfica y el nitrógeno mineralizado.
- Proponer una estrategia de manejo y recuperación biológica del suelo en la zona de estudio.

Marco teórico

Parámetros fisicoquímicos del suelo

Textura

La textura es una propiedad física del suelo que representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen estructuralmente el suelo. Estos elementos son: arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición. (Rucks *et al.*, 2004).

Se clasifica en grupos según el tamaño que tengan los gránulos de suelo. Para estudiar las partículas minerales de los suelos se clasifican en grupos convenientes según su tamaño. Para la clasificación textural del suelo, se puede emplear el triángulo de textura (Figura 1) donde su distribución se relaciona con los porcentajes de arena, limo y arcilla (Ortiz, 1990).

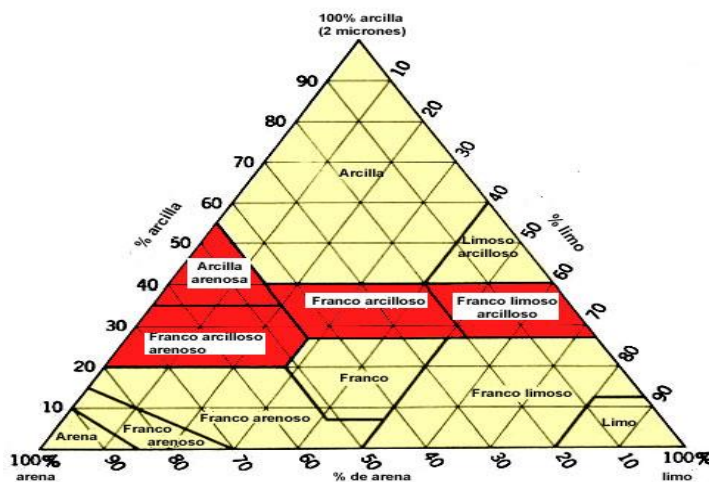


Figura 1. Triángulo de textura. Tomado de: (FAO, 2019)

Color

El color es una de las características morfológicas más notorias del suelo y expresa los diversos procesos químicos, como por ejemplo la meteorización de los materiales geológicos. La importancia de este radica en que con este parámetro se puede encontrar el grado de evolución del suelo, el contenido de humus y la presencia de minerales, su clasificación y por último la productividad que este pueda tener (Crosara, 2019).

Así mismo, el color guarda una estrecha relación con los principales componentes sólidos del suelo. Los colores oscuros en el suelo pueden indicar la presencia de materia orgánica con óxidos de hierro, de carbón, óxidos de manganeso o magnetita. Estos también pueden indicar un buen contenido de fertilidad. Los colores rojos indican un buen drenaje y buena aireación junto a las altas temperaturas y depende del contenido del agua. Los colores grises a blancos pueden mostrar contenidos importantes de cuarzo, arcillas, sales y un mal drenaje en su estructura. Por otro lado, el color también puede ser indicativo del ambiente anaerobio, debido a que el suelo sufre saturación por la filtración de agua, siendo desplazado el oxígeno del espacio poroso (Jaramillo, 2002).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la medida de la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas. Además, como la retención se hace superficialmente obedeciendo a deferencias de carga electrostática, los cationes adsorbidos pueden ser intercambiados por otros de la solución del suelo, convirtiéndose en cationes

intercambiables, necesarios en los procesos de nutrición de la planta. Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (compuestos básicos del suelo) y NH_4^+ (Jaramillo, 2002).

En suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH y Al^{3+} juegan un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo la acidez intercambiable del mismo. La CIC del suelo se expresa en $\text{cmol}^{(+)}/\text{Kg}$ de suelo o en $\text{meq}/100 \text{ g}$ de suelo y depende de la cantidad y tipo de coloides que tiene (Jaramillo, 2002). La clasificación para evaluar la capacidad de intercambio catiónico se presenta en la Tabla 1 (Quintana, 1983).

Tabla 1.

Clasificación de capacidad de intercambio catiónico en el suelo.

Rango (meq/ 100g)	Clasificación
<5	Muy bajo
5 – 15	Bajo
15 – 25	Medio
25 – 40	Alta
>40	Muy alta

Nota: Se describe la clasificación según CIC. Tomado de Quintana, 1983.

Nitrógeno (N)

El N se puede encontrar de formas distintas en el suelo. Este puede oxidarse y luego transformarse en forma de óxidos, por acción de descargas eléctricas, y posteriormente con lavados, siendo trasladados por la lluvia que se encarga de esparcirlo en el suelo como ácido

nitroso (HNO_2) o nítrico (HNO_3). Otra forma de fuente es la fijación biológica. Esta se encarga de integrar el N molecular en sus estructuras como componente de diversos compuestos. Estas incorporaciones solo son capaces de realizarlas microorganismos que habitan libremente en el suelo, y otros que habitan simbióticamente en algunas plantas (Benimeli et al, 2019).

La principal reserva del N en los suelos es la MO, la cual por medio de los procesos de mineralización suministra a la planta parte de esos requerimientos. A medida que aumentan los niveles de MO, se disminuye la respuesta a este elemento y se debe reducir la cantidad del fertilizante, pero se debe tener en cuenta que para contenidos de MO >20% se requiere incrementar las dosis de N, debido a que el proceso de mineralización es más lento en zonas con temperaturas bajas (Calambas, 2009).

Para las plantas la disponibilidad de N es la principal limitante en la productividad de los cultivos, que junto con el fósforo (P) determinan el crecimiento vegetal. Para los sistemas agrícolas la incorporación de N es esencial para la fertilidad del suelo y por tanto para la productividad vegetal (FEADER, 2014).

La clasificación del N total del suelo se encuentra determinada por rangos que varían de bajo a muy elevado (Tabla 2).

Tabla 2.

Rango para la clasificación del nitrógeno total en el suelo.

Rango (%)	Clasificación
< 0,1	Bajo
0,15 – 0,25	Medio
>0,25	Alto

Nota: Se describe la clasificación según N total. Tomado de Calambas, 2009.

Fósforo (P)

El P es el segundo elemento (después del N) más importante para el crecimiento de las plantas, la producción de los cultivos y su calidad. Este es uno de los elementos que más limita la producción agrícola. La agricultura moderna depende del P derivado de roca fosfórica, la cual es un recurso no renovable y cuyas reservas mundiales actuales podrían agotarse en 50-100 años (Cordel *et al.*, 2009; Dawson & Hilton, 2011).

Las principales formas de fosfatos orgánicos son el fosfato de inositol y los ácidos nucleicos. Tanto el inositol como los ácidos nucleicos parecen tener origen principalmente microbiano. El nivel de fósforo orgánico en los suelos puede variar entre un 3 y un 85% del fósforo total. Las principales formas de fosfato inorgánico son las que se muestran en la tabla 3. Todas ellas son de menor solubilidad que los compuestos fosfatados orgánicos (Munera, 2012).

Para definir si un suelo es pobre o rico en P se tiene una clasificación que va desde un rango bajo a un rango alto como (Tabla 3) (Quintana, 1983).

Tabla 3.

Rango para la clasificación del fósforo en el suelo.

Rango (ppm)	Clasificación
<10	Bajo
10-20	Medio
>20	Alto

Nota: Se describe la clasificación según P. Tomado de Quintana, 1983.

Materia orgánica (MO)

La MO puede considerarse como el principal componente sólido que posee este recurso natural, ya que de alguna manera se relaciona con la mayoría de las propiedades del suelo. La MO del suelo, llamada también humus, se define como la fracción orgánica que posee el suelo, excluyendo los residuos vegetales y animales sin descomponer (Jaramillo, 2002).

En la estructura del suelo, la MO favorece a su formación, aumenta la cantidad de microporos, mejora la velocidad, mejora la infiltración, la capacidad de retener líquido y mejora la circulación del aire (Jaramillo, 2002). En cuanto al color, la MO oscurece el suelo y mejorando la nutrición en las plantas. Disminuye el pH e incrementa el valor CIC entre 3 y 4 meq/100 g de suelo (SSL, 1995). El rango para la clasificación de la MO en el suelo se describe en la Tabla 4 (ICA, 1992).

Tabla 4.

Rango para la evaluación del contenido de materia orgánica.

Rango (%)	Clasificación
<2	Bajo
2-3	Medio
>3	Alto

Nota: Se describe la clasificación según MO. Tomado de ICA, 1992.

Carbono orgánico (CO)

El CO del suelo es el componente principal de la MO, por lo cual, contribuye a la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes vegetales, y permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es esencial para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos. Lo cual indica que una disminución en este componente resulta en un cierto grado de degradación del suelo (Global Soil Partnership, 2018).

El CO se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos (Martínez, Fuentes & Acevedo, 2008). El CO se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el CO aumenta la solubilidad de varios nutrientes. El CO asociado a la MO del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. La cantidad de CO

no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

pH

El pH del suelo es una medida de la acidez o la alcalinidad (Kluepfel & Lippert, 2012). Por lo general, el pH se considera como una propiedad muy importante, ya que este tiende a estar correlacionada con otras propiedades, tales como el grado de saturación de bases, la disponibilidad de nutrientes, estabilidad de agregados, actividad biológica, entre otros. La determinación de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo, permite medir el grado de acidez o alcalinidad (Foth, 1985).

De acuerdo con el valor de pH que presenten y con el método utilizado para determinarlo, según SSDS (1993), los suelos se califican como se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación del pH.

Valor	Clasificación
<3.5	Ultra ácido
3.5 - 4.4	Extremamente ácido
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro

7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

Nota: Se describe la clasificación según pH. Tomado de SSDS, 1993.

Salinidad

La salinidad en los suelos es un proceso complejo de degradación química que influye sobre cambios significativos en las propiedades físicas de los suelos. Presenta una distribución heterogénea, variable en el tiempo y espacio, a diferentes escalas (Girón *et al.*, 2009).

Los altos niveles de salinidad tienen efectos perjudiciales sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas las cuales pueden presentar atrofia causándole la muerte (Ramoliya *et al.*, 2006; FAO 2008). Según la FAO (2005), en años recientes, se estimó que 400 millones de ha son afectadas por procesos de salinización y de 230 millones de ha tecnificadas con riego, el 20% presentan algún grado de salinización, y el 10% tienen riesgo de salinización, por la formación de diferentes tipos de sales.

En Colombia, dentro de los procesos de degradación de suelos, la salinización se ha definido como uno de los más importantes, alcanzando cerca del 7.7% de la superficie del país, equivalente a un área aproximada de 87.300 Km² (Otero *et al.*, 2002). Las áreas con mayor cantidad de suelos salinos, se manifiesta en zonas costeras y llanuras de la región Caribe, en los valles interandinos y en las zonas costeras de la región del Pacífico. En el departamento de Córdoba, aproximaciones realizadas por el IDEAM (2002), indican que se presenta más de 7.700 Km² con problemas de salinización, que afectan los rendimientos de los cultivos. La salinidad en el suelo se clasifica de acuerdo con la Tabla 6 (Quintana, 1983).

Tabla 6.*Clasificación de la salinidad en el suelo.*

Valor (ppm)	Clasificación
0-2	No salino
3-4	Muy ligeramente salino
4-8	Moderadamente salino
8-16	Fuertemente salino
>16	Muy fuertemente salino

Nota: Se describe la clasificación según salinidad. Tomado de Quintana, 1983.

Humedad del suelo

Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica (w) es la forma más básica de expresar la humedad del suelo. Tiene las unidades de kg/kg. La humedad volumétrica, generalmente, se calcula como un porcentaje del volumen total del suelo. La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. (Flores & Alcalá, 2010). La humedad en el suelo se clasifica de acuerdo con la Tabla 7 (Ramírez, 1997).

Tabla 7.*Rangos para interpretar la humedad equivalente*

Contenido de humedad (%)	Interpretación
<5	Muy baja
5-15	Baja
15-25	Media
25-35	Alta
>35	Muy alta

Nota: Se describe la clasificación según humedad. Tomado de Ramírez, 1997.

Actividad microbiológica del suelo

Respiración basal

La respiración basal es un parámetro microbiológico la cual sirve de indicador para medir la cantidad de CO₂ que se tiene en los suelos. Mediante la respiración basal se puede estimar la actividad microbiana existente en la zona donde se haya realizado la muestra (Guerrero-Ortiz *et al.*, 2012). La respiración es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana. Representa la oxidación de la MO hasta la formación de dióxido de carbono (CO₂) por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O₂ como aceptor final de electrones, hasta el CO₂. La respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente y está fuertemente afectada por condiciones de humedad y temperatura (Hinostroza *et al.*, 2013).

Mineralización del N

Se denomina mineralización al proceso mediante el cual el N orgánico del suelo es metabolizado por la actividad de la biomasa microbiana presente a formas inorgánicas asimilables por las plantas (Galvis & Hernández, 2004). La mineralización se puede determinar por medio de la tasa de liberación de CO₂, la cual expresa el porcentaje de carbono inicial que se mineraliza en un periodo de tiempo determinado. Partiendo de materia orgánica fresca se presenta una etapa muy activa, que corresponde a la liberación de materiales orgánicos lábiles (azúcares, amino-azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos), seguida de una segunda etapa en la que la actividad biológica es decreciente, quedando los materiales recalcitrantes (Guerrero-Ortiz *et al.*, 2012).

Durante la descomposición de la MO del suelo, los nutrientes orgánicos se convierten en formas inorgánicas disponibles para las plantas. Esta conversión se conoce como mineralización (Steubing *et al.*, 2001). Aproximadamente entre el 92 y el 98 % del N en los suelos se encuentra en forma orgánica, por lo tanto, no se encuentra disponible para las plantas. En este sentido, la mineralización del N juega un papel importante, ya que solo la cantidad que se mineraliza es aprovechable por los cultivos (Castellanos *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2012; Rivera *et al.*, 2013). Al igual que la respiración del suelo, la mineralización constituye un indicador de la actividad biológica (Guerrero, 2012).

Estado del arte

El suelo es un sistema vivo, heterogéneo y dinámico que incluye componentes físicos, químicos, biológicos y sus interacciones (Vallejo-Quintero, 2013). Para evaluar su calidad resulta necesario la medición y descripción de sus propiedades con el objetivo de conservar y mejorar la fertilidad y la productividad del suelo. Lo anterior, garantiza la sustentabilidad de los agroecosistemas. Por lo tanto, como parte de las estrategias para lograrlo, resulta indispensable la selección y uso de indicadores de calidad que proporcionen información sobre los cambios generados en las propiedades edáficas como consecuencia del uso y del manejo (Luters & Salazar, 1999; Karlen *et al.*, 2001; Astier *et al.*, 2002). Entre estos indicadores de calidad se encuentra la respiración basal, que consiste en el desprendimiento del CO₂ producto de la mineralización de la fracción lábil de la materia orgánica por parte de los microorganismos. La medición de CO₂ constituye un método para determinar indirectamente la actividad microbiana del suelo (Stotzky 1965; Anderson, 1982). El CO₂ puede ser cuantificado mediante el método de incubaciones estáticas, capturando el producto de la mineralización en una solución alcalina durante un periodo de tiempo determinado (Stotzky, 1965).

Varios autores han empleado indicadores biológicos como la respiración basal para determinar el estado de la salud del suelo. Llorente *et al.* (2008), utilizaron parámetros microbiológicos edáficos como indicadores del efecto del uso del suelo en el páramo calizo Castellano-Leonés ubicado en España. En esta investigación tomaron las fracciones lábiles de la materia orgánica edáfica para evaluar la respiración basal en un lapso de 51 días en incubación. Este estudio demostró que las zonas que presentaron una mayor lectura de respiración basal fueron las áreas con abundante cobertura arbórea debido al contenido y la calidad de materia orgánica proveniente de los árboles. De igual manera, reportaron que la cantidad del material

vegetal, su composición y sus propiedades son esenciales debido a que determinan su descomposición, mineralización y humificación (Kogel-Knabner, 2002).

Otras investigaciones han definido los factores abióticos que son más determinantes en la descomposición de la MO, siendo la temperatura y la humedad del suelo los principales, ya que definen la difusión de gases y solutos a través del suelo (Nobel, 2005). El incremento de la temperatura en el suelo disminuye el contenido de agua en el mismo, el cual es fundamental para el flujo óptimo de CO₂ cuando el suelo se encuentra en niveles moderados de humedad. Lo anterior debido a que los macroporos se encuentran llenos de aire, facilitando la difusión de gases y los microporos llenos de agua facilitando la difusión de sustratos hidrosolubles (Lou y Zhou, 2006). Sin embargo, Hinestroza, Malca & Suarez (2013) concluyeron que la temperatura sostiene una relación directamente proporcional con la respiración basal.

Por otro lado, Palma (2011) realizó el estudio de respiración y biomasa microbiana en suelos impactados con residuos urbanos en el estado Carabobo (Venezuela) siguiendo la metodología de Stotzky (1967). La actividad microbiana del suelo en esta investigación no se inhibió completamente con humedad relativa baja (10,07%), es por ello que, los suelos con mayor humedad relativa tuvieron mayor respiración, al contener el agua suficiente para la proliferación de microorganismos degradadores de materia orgánica, la cual forma parte del protoplasma microbiano y sirve como medio de transporte a través del cual los compuestos orgánicos y nutrientes son movilizados hasta el interior de las células. Sin embargo, Carlos Dorronsoro (2020), afirma que el exceso de agua puede afectar el transporte y difusión de oxígeno hacia el interior de las partículas de suelo, creando condiciones anaeróbicas y reduciendo la respiración aeróbica.

Con respecto a estudios relacionados con la mineralización del N, Celaya-Michel & Castellanos (2011) estudiaron el comportamiento de la mineralización de N en el suelo de zonas áridas y semiáridas cuyos suelos son típicamente bajos en materia orgánica por la escasa cubierta vegetal y limitada productividad. Los valores de mineralización de N indicaron que fueron mayores bajo el dosel de árboles y arbustos, especialmente leguminosas. En este sentido, mayor cubierta de árboles o arbustos incrementa la presencia de islas de fertilidad, mayor mineralización de N, fertilidad del suelo y utilización eficiente de pulsos de lluvia, aumentando la capacidad de amortiguamiento y resiliencia de los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas.

En Colombia son muy escasos los estudios que se han realizado tomando la actividad microbiana como indicador de la salud del suelo. González (2017) realizó un estudio caracterizando fisicoquímica y microbiológicamente los suelos paramunos del Parque Nacional Natural Sumapaz, los cuales fueron sometidos al cultivo convencional y orgánico de papa. En esta investigación llevaron a cabo un comparativo entre los parámetros evaluados a 2 años y 7 años del cese de actividades agrícolas, determinando que no hubo mayor variación en las lecturas de COT, N total y P disponible. Por otro lado, los análisis de respiración basal mostraron un incremento con el paso de los años de descanso del suelo.

En otra investigación, Meriño *et al.* (2014) también utilizó la biomasa y actividad microbiana como indicadores para los suelos de la Reserva Campesina la Montaña, ubicada en el departamento del Atlántico (Colombia), tomando como referencia zonas pobladas con nidos de hormigas y muestras de suelo aledañas que no poseían dichos establecimientos. Los resultados concluyeron que la presencia de animales vertebrados e invertebrados en una porción de suelo puede ser un factor determinante en la fragmentación y la alteración química del suelo, el cual es uno de los principales procesos que intervienen en la respiración basal, ya que se crean nuevas

superficies para la colonización microbiana, aumenta la proporción de la cantidad de residuos accesibles para la mineralización y, por consiguiente la generación nuevos nutrientes en el sustrato fácilmente asimilables para la flora presente.

Por otra parte, Salcedo (2017) en un estudio realizado en la Universidad de Sucre (Colombia), demostró la incidencia de características fisicoquímicas del suelo (humedad, temperatura, densidad aparente, %MO, pH, porosidad y textura) sobre la respiración edáfica en cuatro suelos con diferente vegetación (vegetación nativa, pasto, *Tectona grandis* (teca), *Hura crepitans* (jabilla). Mediante pruebas de correlación se concluyó que contenido de MO es el principal factor limitante para la respiración del suelo, debido a que la MO es el principal insumo para la actividad microbiana edáfica, por lo cual, a mayor contenido de MO se observa un incremento en la respiración basal. Por otro lado, la humedad fue considerada como el segundo factor limitante con respecto a la respiración microbiana puesto que a lo largo de los periodos de lluvia la actividad microbiana tiende a activarse debido al incremento de la humedad del suelo, la cual al encontrarse a capacidad de campo la respiración del suelo aumenta. De igual manera, Ramírez & Romero (2008), encontraron que la mayor tasa de respiración del suelo se aprecia al comienzo de la estación seca, cuando el suelo posee un contenido de humedad apreciable, sin sobrepasar la capacidad de campo del terreno, mientras que la tasa mínima de respiración se obtuvo dos meses después del inicio de la temporada de sequía, cuando el suelo poseía el mínimo contenido de humedad disponible.

Adicionalmente, Salcedo (2017) concluye que el pH es limitante a la cantidad de la respiración del suelo debido a que puede afectar las actividades de las bacterias presentes, siendo mayor la respiración en suelos de pH alcalinos y menor en pH ácidos. Sin embargo, Vásquez *et al.* (2013), mediante estudios en una zona agrícola ubicada en el noroeste del departamento del

Magdalena (Colombia), observó que el pH tuvo una correlación negativa con la cantidad de CO₂ emitido por el suelo, indicando que, para las condiciones ambientales y de uso de suelo en la zona de estudio, a medida que los suelos tienden a la alcalinidad se inhibe en un alto porcentaje la respiración basal.

Diseño metodológico

Área de estudio

Esta investigación se desarrolló en la Reserva Natural Banco Totumo Bijibana en el municipio de Repelón, ubicado al sur del departamento del Atlántico. La reserva ecológica es considerada patrimonio natural ubicada 10°21'33.18" N y 75°00'27.35" O (Figura 2). Se caracteriza por ser un bosque seco tropical, posee 119 ha donde existen especies de fauna silvestre y plantas protegidas. El suelo es arenoso, fértil, rico en materia orgánica y con variaciones en el porcentaje de humedad de acuerdo con la temporada (CRA, 2013).

El clima de Repelón presenta un periodo seco de diciembre a marzo, un periodo de transición entre abril y junio, y un periodo lluvioso de septiembre a noviembre (Alcaldía Municipal de Repelón, 2018). Con respecto a las condiciones climáticas, la temperatura promedio en Repelón es 28.2 °C, con una variación de 1.3 °C durante todo el año. La precipitación presenta un promedio de 972 mm, el mes con mayor humedad es octubre con un promedio de 176 mm mientras el más seco es enero con 7 mm, entre los meses más secos y húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 169 mm (Climate Data, 2018).

Según la zonificación de suelos (IGAC, 2009), el uso principal de este suelo se considera forestal protector con características que lo describe con fuertes pendientes mayores a un 50%,

erosión en grado moderado y no apta para realizar actividades agropecuarias. Estas áreas, están destinadas a la protección y conservación del suelo y de los recursos hídricos existentes.

Durante el año 2014 en la reserva se presentó una emergencia ambiental ya que, por la temporada de sequía y las quemas no controladas, se desarrolló un incendio forestal donde se quemaron 30 ha. Esta investigación evaluó 1 ha del total del área que se encuentra en recuperación.

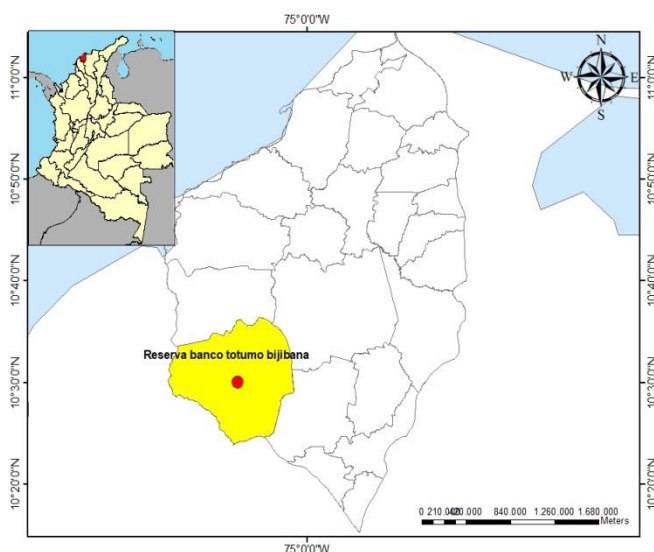


Figura 2. Reserva Banco Totumo Bijibana, municipio de Repelón, Atlántico. Tomado de:
Elaboración propia.

Fase de campo

Se tomaron veinte (20) muestras de suelos en la reserva Bijibana en el municipio de Repelón, Atlántico. Los suelos fueron muestreados de acuerdo con los lineamientos del IGAC (2006). Cada muestra destinada a la caracterización del suelo estuvo compuesta por aproximadamente un 1Kg de suelo. Para los análisis microbiológicos, se tomaron sobre la primera capa del suelo a una profundidad de 0-10 cm, posteriormente fueron empacadas en

bolsas de polietileno con cierre hermético y transportadas en cajas de poliestireno que contenían gel packs para mantener una temperatura de 4 ± 1 °C. Para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm y fueron transportadas en bolsas de polietileno con cierre hermético sin presencia de medio refrigerante.

Fase de laboratorio

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio Ambiental de la Universidad de la Costa (CUC). Los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron por triplicado y un control por muestra.

Características fisicoquímicas del suelo.

pH: Mediante una balanza analítica se pesaron 10 g de suelo tamizado en fracción de 2 mm secado a una temperatura de 105° C por un día. Luego se le agregó un volumen de 20 mL de agua destilada y se procedió a hacer la mezcla. Para garantizar una suspensión homogénea se dispuso el beaker en un agitador mecánico con una velocidad de 120 rpm durante 15 min. Por último, se realizó la lectura con un pH-Metro digital (NTC 5264, 2008).

Humedad: La humedad presente en el suelo fue determinada por el método gravimétrico (IGAC, 2006). Se secó a 105°C una capsula de porcelana y luego se dejó enfriar en el desecador. En la balanza analítica, se taró la cápsula previamente secada y enfriada. Paralelamente, se secó al aire la muestra de suelo y se tamizó por 2mm, luego se colocaron 10 g de suelo en la cápsula. Se dejó secar la muestra durante 24 h a 105 °C en el horno. Posteriormente, se dejó enfriar la cápsula en el desecador por 2h, para luego tarar el peso de la cápsula y se realizó el pesaje final de la cápsula con la muestra previamente secada en el horno y enfriada en el desecador. Se realizó el cálculo con la ecuación 1.

$$pw(\%) = \frac{Pmh - Pms \times 100}{Pms} \quad (1)$$

Pw= Porcentaje de humedad en el suelo

Pmh = peso de la muestra (g) antes del secado a 105°C

Pms = peso de la muestra (g) después del secado a 105°C

Carbono Orgánico: El carbono orgánico presente en el suelo fue determinado empleando una digestión húmeda por el método Walkley-Black (IGAC, 2006).

Se pesaron 0.3 g de suelo seco a 105°C y tamizado por 2 mm, luego se depositó en un erlenmeyer de 250 mL. Se procedió a agregar, con un dispensador, las soluciones de H₂SO₄ concentrado y K₂Cr₂O₇ según el color del suelo; debido a que las muestras del suelo fueron de color negros y pardo oscuro se utilizó 10 mL de K₂Cr₂O₇ y 20 mL de H₂SO₄.

Se preparó un blanco de proceso por cada volumen de K₂Cr₂O₇ y H₂SO₄ trabajado. Se agregó lentamente la solución de K₂Cr₂O₇ 1N y se homogeneizó la muestra. Se agregó rápidamente el H₂SO₄ y se agitó la mezcla durante 30 s. La mezcla se dejó en reposo 30 min. Fueron lentamente vertidos entre 50 y 100 mL de agua destilada por las paredes del erlenmeyer, luego se dejó enfriar la solución, se agregó con una pipeta 1 mL de ácido fosfórico concentrado y se agitó la solución.

Luego se adicionaron 5 gotas de ortofenantrolina, se titularon los blancos y la muestra de suelo con FeSO₄ N como titulante, hasta el viraje de la solución de verde a verde oliva. Se anotó el volumen gastado para esta y se realizó el cálculo de % de C orgánico con la ecuación 2.

$$\%C.O = \frac{(Bp - M) \times N \times 0.003 \times (100 + pw)}{pm} \quad (2)$$

Dónde:

Bp = mL de FeSO_4 amónico o FeSO_4 gastados en la titulación del blanco

M = mL de FeSO_4 amónico gastados en la titulación de la muestra

V = mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ agregados al blanco

N = normalidad del FeSO_4 amónico, resultado de la titulación del blanco (V/Bp)

0.003 = peso en g de un meq de carbono

Pw = porcentaje de humedad del suelo (factor de corrección por humedad)

Pm = peso de la muestra en g

Materia Orgánica: Para la obtención de MO existente se utilizaron los datos generados mediante la prueba de Carbono orgánico del suelo (IGAC, 2006). Se utilizó la ecuación 3:

$$\mathbf{M.O. (\%) = C.O. (\%) \times 1.74} \quad (3)$$

Dónde:

M.O. (%) = Porcentaje de materia orgánica

C.O. (%) = Porcentaje del carbono orgánico total

1.74 = Factor donde se considera la abundancia promedio de C en materia orgánica

Fósforo disponible: La determinación del P se llevó a cabo utilizando el método B. Bray II, descrito en la (NTC 5350, 2005). Para ello, se pesaron 2.85 g de suelo, secado a 40°C y tamizado a 2 mm, se depositaron en un beaker de 150 mL a los cuales se le agregaron 20 mL de solución extractora de Bray II, que fue sometida a agitación por 1 min. Una vez terminada la agitación se filtró la mezcla y simultáneamente se depositó el extracto filtrado en un beaker de 50 mL. Posteriormente se realizó la lectura en un fotómetro con una lectura de 420 nm. La cantidad de P en el suelo se determinó con la ecuación 4.

$$(mg/kg \text{ de suelo}) = CC \times Vf \times \frac{Vi}{p} \quad (4)$$

Dónde:

P (mg/kg de suelo) = fósforo presente en el suelo en mg/kg de suelo

CC = lectura del equipo

Vf = volumen final de la solución colorimétrica (mL)

Vi = volumen de la solución empleada para hacer el extracto (mL)

Salinidad: Inicialmente, se pesaron 40 g de suelo tamizado a 2 mm y secado a una temperatura de 105° C. Posteriormente, se procedió a agregarle agua desionizada con un volumen de 20 mL por cada muestra, luego se mezcló y se midió la conductividad mediante un conductímetro (EC300, Eco Sense). Para la determinación del contenido de sal en las muestras se aplicó la ecuación 5 (IGAC, 2006).

$$\text{Contenido de sales en la solución} = CE * 0.64 \quad (5)$$

CE = Conductividad eléctrica

0.64 = Constante

Textura: Para la determinación de la textura se pesaron 50 g de suelo tamizado por una fracción de 2 mm y seco a una temperatura de 105°C durante un día. La muestra se vertió en un frasco de aluminio de 250 mL. Luego se le agregó agua destilada hasta completar 2/3 del frasco, se le agregaron 2 mL de hexametáfosfato de sodio ((NaPO₃)₆) y carbonato de sodio (Na₂CO₃), luego se agitó durante 15 minutos en un agitador mecánico.

Posteriormente, las muestras fueron transvasadas a una probeta de 1 L y se agregó agua hasta alcanzar el volumen faltante. Seguidamente se agitó de manera manual durante 10 s y se introdujo el hidrómetro sin que tuviera contacto con las paredes de la probeta. Transcurridos 40 s se realizó la primera lectura y se retiró el hidrómetro. Se dejó la suspensión en reposo por 2 h sin mover la probeta, luego se sumergió nuevamente el hidrómetro para realizar la lectura (IGAC, 2006)

Por último, se aplicaron las siguientes ecuaciones para determinar el porcentaje de arena, arcilla y/o limo.

$$\% \text{ Arena} = \frac{100 - \text{lecturas a } 40 \text{ s} (100 + pw)}{50 \text{ g}} \quad (6)$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{100 - \text{lecturas a } 2 \text{ h} (100 + pw)}{50 \text{ g}} \quad (7)$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ arena} + \% \text{ arcilla}) \quad (8)$$

Dónde:

Pw = porcentaje de humedad en el suelo seco a 105°C

Color: Fue realizada mediante el método Munsell el cual consiste en comparar la muestra de suelo húmeda con una cartilla que contiene las diferentes tonalidades que pueden presentar los suelos y su respectiva notación (Munsell, 2012).

Capacidad de Intercambio Catiónico: se realizó utilizando el método de saturación con $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$ 1N y pH 7, establecido por la NTC (5268/2004). Se pesaron 5 g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, se añadió la muestra a un erlenmeyer de 250 mL, al cual se le agregaron 30 mL de $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$ y se agitó durante 30 min. Posteriormente se filtró al vacío empleando lavados de 5 porciones de 5 mL de etanol al 96% (v/v) y se descartó el filtrado, luego se llevó al embudo büchner 5 porciones de 10 mL de cloruro de sodio al 10% (p/v) y se filtró al vacío. El filtrado se realizó en un matraz erlenmeyer de 250 mL, se añadió 20 mL de formaldehído y se tituló con hidróxido de sodio al 0.2 N en presencia de fenolftaleína como indicador. Para determinar la CIC en el suelo se utilizó la ecuación 9:

$$\text{CIC (meq/100 g)} = V \times N \times (100 + \text{PW}) p \quad (9)$$

Dónde:

V= volumen de la solución titulante (NaOH) (mL)

N= normalidad del titulante (NaOH) (0,2N)

PW= porcentaje de humedad del suelo

p= masa del suelo

Nitrógeno total: El N total fue determinado a partir del porcentaje de materia orgánica presente en las muestras de suelo, calculando el porcentaje de N inorgánico el cual es aprovechable por las plantas (Castellanos, Uvalle-Bueno, & Aguilar, 2000). Se utilizó la ecuación 10:

$$\%NT = \%MO * 0.05 \text{ (10)}$$

%NT = Porcentaje de Nitrógeno Total

%MO= Porcentaje de Materia Orgánica

Análisis microbiológico

Respiración Basal: Se determinó la respiración basal de las muestras de suelo de acuerdo con la metodología descrita por Stotzky (1967). Se realizó el montaje de trampas de álcali con 10 mL de NaOH al 0.1 M en tubos estériles de 15 mL, los cuales fueron introducidos en frascos de vidrio ámbar previamente esterilizados que contuvieron 20 g de muestra de suelo previamente tamizado a 2mm como se muestra en la figura 3.

Durante los días 1, 3 ,6 y 8 se realizaron evaluaciones de la respiración de los microorganismos del suelo. Para ello, se tomó la trampa de álcali y se vertieron 10 mL de BaCl a una concentración de 0.05 M, luego se tituló con HCl 0,1 M en presencia de fenolftaleína al 1% como indicador y los resultados fueron estudiados mediante titulación.



Figura 3. Montaje de trampas de álcali. Tomado de: Elaboración propia

La respiración basal fue calculada con la ecuación 11 (Guerrero-Ortiz et al., 2012):

$$CO_2(kg/ha/d) = \frac{44N(B - V)}{AT} * 2400 \quad (11)$$

Donde:

B= Ácido requerido para titular el blanco

V= Ácido requerido para titular la muestra

N= Normalidad del ácido

44= Peso equivalente del CO₂

A= Superficie del suelo en la incubadora (cm²)

T= Tiempo (h)

2400= Factor de corrección de unidades

De acuerdo con los valores obtenidos de la respiración del suelo (Woods End Research, 1997), se realizó su categorización para estimar su estado (Tabla 8).

Tabla 8.

Índices generales para clases de respiración del suelo y estado del suelo en condiciones óptimas de temperatura y humedad.

Respiración del suelo (kgC/ha/d)	Clase	Estado del suelo
0	Sin actividad en el suelo	Suelo inerte sin actividad biológica
< 10.64	Actividad baja del suelo	El suelo carece de MO disponible
10.64 – 17.92	Mediana moderadamente baja del suelo	El suelo ha perdido MO y su actividad es baja
17.92 – 35.84	Actividad mediana del suelo	El suelo aproximado a un estado ideal o alejado
35.84 – 71.68	Actividad ideal del suelo	El suelo se encuentra en un estado ideal
> 71.68	Actividad inusualmente alta del suelo	El suelo tiene un muy elevado nivel de actividad con su alto % de MO. Posiblemente a través del agregado de grandes cantidades de MO como el abono

Nota: Se describe la clasificación según respiración del suelo. Tomado de Woods End Research, 1997.

Nitrógeno mineralizado: El N orgánico fue determinado utilizando la metodología de Castellanos *et al.* (2005), asumiendo una tasa de mineralización del N al 1%, el 55% de C orgánico constituye la MO y una relación C/N de 10:1 en una ha de suelo. Para el cálculo del N mineralizado, primero se calculó la densidad aparente del suelo. Esta fue determinada a partir de

la textura del suelo y el mapa de contorno de la densidad de masa mineral del suelo (g/cm^3) (Figura 4), de acuerdo con la metodología de Rawls (1983) utilizando la ecuación 12:

$$\text{Densidad aparente del suelo } (\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{100}{\left(\frac{\%MO}{MOd}\right) + \left(\frac{100-\%MO}{Md}\right)} \quad (12)$$

Donde:

MO: Materia Orgánica

MOd: Densidad de la masa de la materia orgánica ($0,224 \text{ g}/\text{cm}^3$)

Md: Densidad de la masa mineral del suelo (g/cm^3)

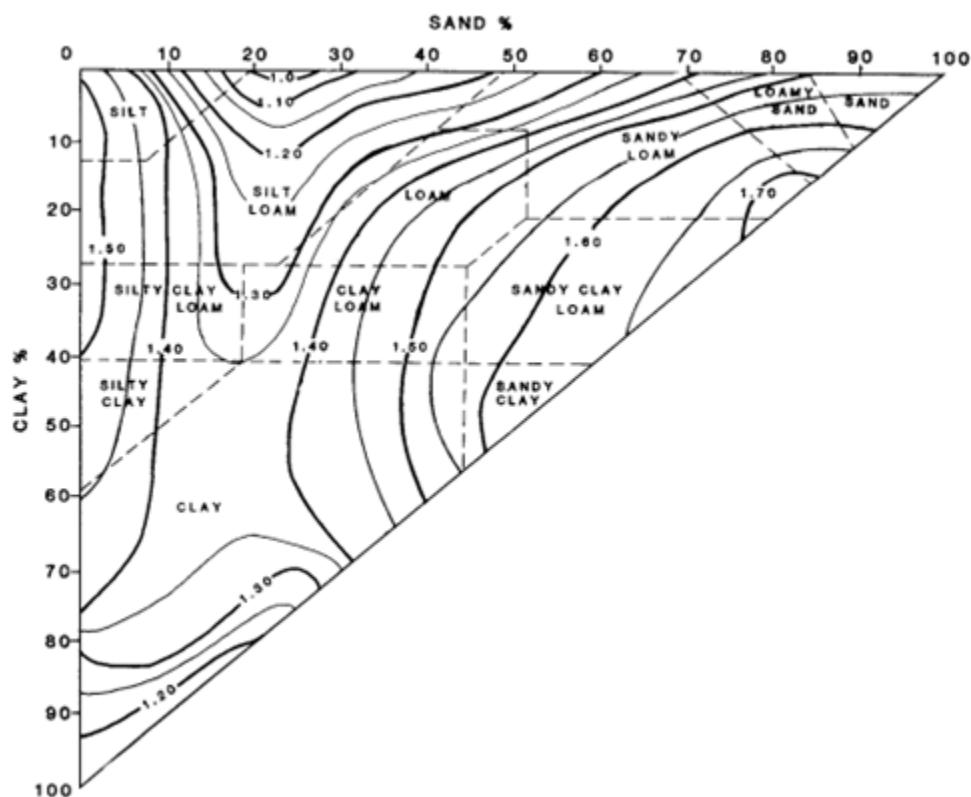


Figura 4. Mapa de contorno de la densidad de masa mineral del suelo (g/cm^3). Tomado de:

(Rawls, 1983).

El N mineralizado se calculó de acuerdo con la ecuación 13:

$$\text{Nitrogeno mineralizado (Nm)} = \frac{(\text{MO} * 0.55)(\text{p})(\text{dap})(0,001)}{100} \quad (13)$$

Donde:

Nm: Nitrógeno mineralizado a partir de la materia orgánica (Kg/ha)

MO: Materia orgánica (%)

p: Peso del suelo

dap: Densidad aparente del suelo

0.55: Factor de carbono orgánico en materia orgánica

0.001: Factor de la tasa de mineralización del nitrógeno.

De acuerdo con los valores obtenidos en la mineralización del nitrógeno del suelo (Castellanos, 2005), se realizó su categorización para estimar su estado (Tabla 9).

Tabla 9.

Clasificación de los suelos con base al contenido de nitrógeno mineralizado.

Rango de Nitrógeno mineralizado (Kg/ha)	Clase
0.0-14.5	Muy bajo
14.6-29.7	Bajo
29.8-50.9	Medio
51.0-82.4	Alto
82.5-212	Muy Alto

Nota: Se describe la clasificación según N mineralizado. Tomado de Castellanos, 2005.

Resultados

Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo

Las propiedades fisicoquímicas de los suelos muestreados se presentan en la Tabla 10. En general, el suelo del distrito de Riego de Repelón se caracterizó por presentar variaciones de pH moderadamente ácido con un valor promedio de 5.92. La humedad de las muestras nos permitió determinar que el suelo del área trazada para la toma de estas se encuentra con niveles de altos, arrojando un promedio de 34.05%.

El color marrón (5 YR y 7.5 YR) fue predominante en la zona de estudio. El porcentaje de MO en los puntos muestreados presentó valores bajos con un promedio de 0.703%. El N total se encontró en niveles bajos con un promedio de 0.035%.

En general, el P total del suelo exhibió valores altos, con un promedio de 62.12 mg/kg. Los valores de CIC indicaron un nivel alto de este parámetro, en promedio fue de 57.36 meq/100 g. La salinidad de las muestras de suelo arrojó un promedio total de 0.754 ppm. En las muestras de suelo del área de estudio seleccionada predominó la textura franco-limosa.

Tabla 10.*Propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes puntos de muestreo.*

MUESTRA	Humedad (%) \pm DE	pH \pm DE	Salinidad (ppm) \pm DE	CIC (meq/100 g) \pm DE	%MO \pm DE	P (mg /kg) \pm DE	NT (%) \pm DE	Textura	Color
1	33.9 \pm 0.23	5.76 \pm 0.012	0.498 \pm 0.05	58.608 \pm 13.21	2.3 \pm 0.18	71.39 \pm 16.10	0.115 \pm 0.009	Franco Arcilloso	5 YR 2.5/1
2	33.0 \pm 0.39	5.6 \pm 0.13	0.866 \pm 0.04	53.545 \pm 2.61	2.16 \pm 0.20	68.86 \pm 5.32	0.108 \pm 0.01	Franco Arcilloso	5YR 2.5/1
3	31.5 \pm 2.07	5.46 \pm 0.19	0.82 \pm 0.04	51.292 \pm 6.06	0.03 \pm 0.03	70.73 \pm 17.02	0.002 \pm 0.001	Limo	5YR 2.5/2
4	32.6 \pm 0.55	5.9 \pm 0.41	0.859 \pm 0.19	51.191 \pm 5.24	0.11 \pm 0.07	51.64 \pm 4.18	0.006 \pm 0.003	Franco Limoso	10 YR 3.0/2
5	33.4 \pm 0.56	6.19 \pm 0.22	0.981 \pm 0.12	50.9 \pm 0.70	0.31 \pm 0.07	43.44 \pm 8.06	0.016 \pm 0.003	Franco Limoso	7.5 YR 2.5/1
6	36.7 \pm 8.92	5.25 \pm 0.12	0.843 \pm 0.04	63.55 \pm 10.95	0.78 \pm 0.08	47.69 \pm 11.0	0.039 \pm 0.004	Franco Limoso	7.5 YR 2.5/2
7	28.3 \pm 0.28	6 \pm 0.14	0.79 \pm 0.09	56.76 \pm 21.66	0.5 \pm 0.09	61.5 \pm 10.01	0.025 \pm 0.005	Limo	7.5 YR 2.5/2
8	31.6 \pm 1.28	5.18 \pm 0.27	0.767 \pm 0.10	64.71 \pm 30.50	0.23 \pm 0.02	56.1 \pm 1.42	0.012 \pm 0.001	Limo	2.5 YR 2.5/2
9	34.9 \pm 1.14	5.58 \pm 0.07	1.012 \pm 0.06	44.2 \pm 2.23	0.17 \pm 0.13	45.98 \pm 13.41	0.009 \pm 0.007	Franco Limoso	10 YR 2.0/1
10	34.6 \pm 0.45	4.96 \pm 0.15	0.682 \pm 0.07	58.26 \pm 1.45	0.28 \pm 0.09	67.22 \pm 11.7	0.014 \pm 0.005	Franco Limoso	10 YR 2.0/1
11	34.2 \pm 0.33	5.1 \pm 0.11	0.905 \pm 0.11	46.14 \pm 2.85	1.653 \pm 0.05	48.09 \pm 17.7	0.083 \pm 0.003	Franco Limoso	10 YR 2.0/1
12	43.4 \pm 2.70	5.93 \pm 0.13	0.629 \pm 0.15	67.19 \pm 4.21	1.339 \pm 0.05	75.86 \pm 2.54	0.067 \pm 0.003	Franco Limoso	5 YR 2.5/1
13	42.5 \pm 0.64	6.34 \pm 0.18	0.74 \pm 0.20	66.59 \pm 13.08	0.4611 \pm 0.07	72.52 \pm 4.8	0.023 \pm 0.003	Franco Limoso	2.5 YR 2.5/1
14	41.2 \pm 2.47	6.3 \pm 0.13	0.767 \pm 0.04	67.97 \pm 13.84	0.2958 \pm 0.04	51.84 \pm 19.27	0.015 \pm 0.002	Franco Limoso	5 YR 3.0/1
15	34.9 \pm 0.52	6.57 \pm 0.07	0.71 \pm 0.15	56.27 \pm 18.29	0.7917 \pm 0.08	73.07 \pm 19.32	0.040 \pm 0.004	Franco Limoso	7.5 YR 4.0/1
16	31.0 \pm 0.95	6.26 \pm 0.12	0.558 \pm 0.24	69.22 \pm 5.42	0.5829 \pm 0.11	67.29 \pm 13.13	0.029 \pm 0.005	Franco Limoso	10 YR 3.0/1

17	26.5±3.60	6.61±0.04	0.659±0.22	52.78±17.05	0.5133±0.09	87.33±1.09	0.026±0.005	Franco Limoso	5 YR 3.0/1
18	25.6±0.86	7.08±0.22	0.61±0.15	65.97±4.75	0.783±0.07	62.28±1.86	0.039±0.003	Franco Limoso	7.5 YR 3.0/1
19	34.7±1.67	6.09±0.47	0.514±0.04	50.42±3.67	0.261±0.07	55.39±9.72	0.013±0.003	Franco Limoso	7.5 YR 3.0/1
20	36.4±1.27	6.26±0.35	0.87±0.09	51.78±3.37	0.522±0.08	64.21±3.17	0.026±0.004	Franco Limoso	5 YR 2.5/1

CIC: capacidad de intercambio catiónico; MO: materia orgánica; P: fósforo disponible; NT: Nitrógeno total.

Nota: Resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los puntos de muestreo. Tomado de:

Elaboración propia

Caracterización biológica de las muestras de suelo

En la Tabla 11 se presentan los resultados de los parámetros biológicos para determinar la salud del suelo de la Reserva Natural Bijibana. Todos los suelos presentaron baja actividad microbiana con un promedio de respiración del suelo 0.12 Kg/ha/d. De igual manera, el N mineralizado presentó valores entre bajo (19.72 Kg/ha) y muy bajo (0.36 Kg/ha) con un promedio total de 5.61 Kg/ha (Muy bajo).

TABLA 11.

Resultados de respiración del suelo y N mineralizado.

Muestra	Respiración del suelo ± DE (Kg/ha/día)	Clasificación	Nitrógeno mineralizado± DE (Kg/ha)	Clasificación
1	0.18±0.02	Actividad baja	19.72±1.23	Bajo
2	0.15±0.03	Actividad baja	18.77±1.37	Bajo
3	0.11±0.02	Actividad baja	0.36±0.17	Muy bajo
4	0.14±0.01	Actividad baja	0.94±0.36	Muy bajo
5	0.10±0.01	Actividad baja	2.41±0.52	Muy bajo

6	0.09±0.03	Actividad baja	4.91±0.46	Muy bajo
7	0.08±0.02	Actividad baja	2.68±0.47	Muy bajo
8	0.09±0.02	Actividad baja	2.06±0.13	Muy bajo
9	0.05±0.03	Actividad baja	2.25±1.21	Muy bajo
10	0.13±0.09	Actividad baja	2.15±0.69	Muy bajo
11	0.16±0.01	Actividad baja	11.3±0.32	Muy bajo
12	0.19±0.01	Actividad baja	9.47±0.34	Muy bajo
13	0.20±0.05	Actividad baja	3.51±0.48	Muy bajo
14	0.14±0.02	Actividad baja	2.67±0.35	Muy bajo
15	0.08±0.04	Actividad baja	5.86±0.55	Muy bajo
16	0.18±0.01	Actividad baja	5.13±0.90	Muy bajo
17	0.05±0.02	Actividad baja	3.89±0.66	Muy bajo
18	0.14±0.01	Actividad baja	7.79±0.63	Muy bajo
19	0.10±0.01	Actividad baja	2.37±0.61	Muy bajo
20	0.10±0.009	Actividad baja	3.95±0.57	Muy bajo

Nota: Resultados obtenidos de los parámetros biológicos evaluados en los puntos de muestreo. Tomado de:

Elaboración propia

Estrategias de manejo y monitoreo

Teniendo en cuenta la importancia de esta área protegida, se hace necesario proponer estrategias de manejo y monitoreo para lograr la recuperación de la zona de estudio:

Acciones de manejo.

- **Instalación de biomallas**

La instalación de biomallas se realiza con el fin de tener una estabilidad en el talud de la ladera que se vio afectada por el incendio. Como ya se mencionó una de las consecuencias en el suelo por un incendio es el incremento de potencial de erosión, adicionalmente, la zona estudiada cuenta con laderas. Tener un talud estable y sin deslizamientos permitirá un crecimiento óptimo de cobertura vegetal y plantaciones que en este se realicen (Carvallo, 2010).

- **Reforestación en área afectada por incendio**

Para hacer una reforestación en una zona que fue afectada por un incendio forestal se debe contar con un inventario forestal. Una vez que se determinan las especies que se utilizarán para restaurar el área, se debe decidir si se dejará que éstas colonicen nuevamente el sitio o se reintroducirán directamente usando semillas o plantas (Carvallo, 2010). Tavarez (2010), afirma que la estrategia de reintroducción presenta los costos más bajos y preserva la información genética de las comunidades que ahí existían.

- **Medidas de prevención y conciencia**

Teniendo en cuenta que esta es un área protegida las medidas de prevención a tomar puede ser campañas académicas sobre incendios y el daño que este ocasiona en el suelo, eliminar por completo el pastoreo en la reserva, señalar zonas e implementar avisos donde se manifieste la prohibición de actividades o ingreso de materiales que puedan causar incendios en esta zona y por último realizar jornadas de educación ambiental para las comunidades aledañas.

- **Monitoreo y seguimiento**

Es una actividad que va a garantizar el establecimiento de las especies plantadas. El riego es una de las partes más importante porque como se mencionó, la falta de humedad que se genera durante los periodos de sequias en el año afectan directamente en forma negativa al crecimiento de plantas y reproducción de microorganismos, para eso se tiene que estos se podrían realizar de forma periódica durante los meses más secos del año que comprenden entre el mes de diciembre y el mes de mayo (Carvallo, 2010).

Discusión

Las muestras de suelo evaluadas presentaron diferentes rangos de pH, estos se encontraron entre fuertemente ácido (4.9) y neutro (7.08), con un promedio moderadamente ácido (5.92). Los valores de pH ácidos encontrados se pueden deber al desplazamiento de las bases existentes en el suelo por las escorrentías de aguas o lavados que se presenta con la lluvia, principalmente en esta zona de laderas y pendiente inclinada. (Sadeghian, 2016). El nivel de pH entre moderadamente ácido y neutro, se encuentra en el rango óptimo para el crecimiento de la mayor parte de los microorganismos (intervalo de pH entre 6 y 8) (Maroto & Rogel, 2004). Por otro lado, según Ramos & Zúñiga (2008), en el cual se estudió el efecto de la temperatura, humedad y pH sobre la actividad microbiana del suelo, existen diferencias significativas entre las medidas de producción de CO₂ para las pruebas realizadas a diferentes pH. Debido a que, el resultado más alto de respiración basal (0.055 mgCO₂/g/ha) se presentó en un pH neutro (7.8) y el más bajo (0.048 mgCO₂/g/ha) se observó en un pH ácido (4.0).

Por otra parte, la humedad del suelo fue de 34.05% en promedio, lo cual representa niveles altos para esta zona. Estos altos niveles de humedad pueden ser debidos a que los puntos de muestreo están ubicados en zonas de bosque seco-tropical con un frondoso dosel arbóreo, el cual proporciona suficiente hojarasca y representa una capa protectora del suelo con respecto a la radiación solar que este recibe, evitando que la temperatura del suelo se eleve al punto de evaporación del contenido de agua en el mismo (FAO, 2005). De igual manera, el color de las muestras de suelo predominante fue de tonalidad marrón oscuro (5 YR 2.5/1), atribuido a los altos niveles de humedad encontrados en la zona (FAO, 2019).

Los valores de CIC indicaron un nivel alto de este parámetro, en promedio fue de 57.36 meq/100 g, lo cual permite determinar que el suelo tiene una alta capacidad de retención de

caciones, previniendo de las lixiviaciones de los nutrientes y permitiendo a las plantas tener una adecuada nutrición. Los altos valores de CIC suelen ser atribuidos a suelos de características arcillosas y/o ricos en MO, el tipo de micela (microcélulas coloidales rodeadas de una densa capa de cargas eléctricas del mismo signo) y la estructura del complejo arcilla/humus (Gliessman, 2002). Sin embargo, aunque el área de estudio posee bajos niveles de MO y suelos con textura franco-limosa, el nivel de CIC puede ser debido a su moderado contenido de arcilla, el tipo de MO presente y la composición mineral del sustrato (Gliessman, 2002). La salinidad de las muestras de suelo arrojó un promedio total de 0.754 ppm, clasificándolo como no salino según el indicador propuesto por Quintana (1983). Esto puede deberse a las características del área de estudio, ya que esta no es una zona costera, no hay uso de fertilizantes y no es un distrito de riego, los cuales son factores que suelen elevar la salinidad del sustrato (Bandera, 2013).

Los bajos niveles de N total en el suelo pueden ser debidos al incendio forestal ocurrido en el 2014. El N sufre transformaciones como la volatilización y oxidación de su estado orgánico acumulado en el humus, además de su transformación acelerada en amoníaco (Nardoto & Bustamante, 2003; Vellozas, *et al.*, 2010). Por otra parte, el alto contenido de P se debe a que, el contenido de P disponible aumenta tras los incendios forestales debido a la transformación de este elemento en forma orgánica a inorgánico, y a la incorporación de cenizas ricas en P, producto de la combustión de la vegetación (Vellozas, *et al.*, 2010). De igual manera, los rangos de pH entre 5.6 a 6.8 para su óptima disponibilidad (Guerrero, 2009), concuerdan con los rangos de pH promedio encontrado en los suelos de la reserva. Finalmente, los suelos con altos contenidos de humedad (34.05%) inducen a incrementos de iones fosfato en la solución del suelo, elevando los niveles de P disponible (Bernier & Bortolameolli, 2000).

Un factor determinante en los valores de MO y N son las características inherentes a los

suelos pertenecientes a zonas cálidas como la Costa Atlántica, donde la temperatura de la zona de estudio que se encuentra promediada anualmente en 28°C. Según Fassbender (1982), la mineralización de la MO alcanza su punto máximo entre los 30°C y 40°C, por lo tanto, en temperaturas mayores de 25°C, la MO disminuye. Por lo tanto, los bajos niveles de MO y Nm se asocian principalmente al poco contenido y/o a la gran transformación de los residuos orgánicos y altas pérdidas del N (Guerrero, 2009).

Los suelos son la mayor fuente y, a su vez, reservorio de carbono en los ecosistemas terrestres. El CO₂ producido por el suelo, se debe principalmente a la respiración de organismos heterótrofos y la respiración de raíces vivas (Ramírez & Moreno, 2008). En el experimento, la evaluación de la respiración del suelo obtuvo valores entre 0.05±0.03 y 0.20±0.05 Kg/ha/día, lo cual clasifica este suelo como actividad muy baja según el índice de Woods End Research (1997). La respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente. Durante un largo periodo de sequía la respiración es baja y posterior a la precipitación se ha observado incremento en la respiración del suelo (Salcedo, 2017). De igual manera, está influenciada por características del suelo como humedad, temperatura y porosidad. Los dos primeros factores son determinantes en la presencia y/o ausencia de microorganismos. Por su parte, la porosidad del suelo permite mejor accesibilidad de gases, en este caso, el oxígeno necesario para respiración y descomposición de la materia orgánica, produciendo una liberación de CO₂. Finalmente, la actividad biológica es un reflejo directo de la degradación de materia orgánica del suelo (Parkin *et al.*, 1996). En los parámetros químicos evaluados, el suelo presentó bajo contenido de MO, asociado con la baja actividad biológica y esta condición se puede relacionar con las consecuencias del incendio forestal en la zona de estudio el año 2014 y el bajo contenido de MO.

Respecto al incendio, las altas temperaturas pueden provocar la oxidación o combustión de elementos constituyentes de la MO (Vellozas *et al.*, 2010). Castellanos, Uvalle-Bueno, & Aguilar-Santelises, (2000), reportan que el N representa aproximadamente el 5% de la MO disponible. Consecuentemente, la disminución de N total repercute adversamente en la sostenibilidad del sistema edáfico, debido a que entre sus principales funciones se encuentra producir una mayor cantidad de biomasa vegetal que se incorpora al sistema, permitiendo mantener los valores de MO (Hinostroza *et al.*, 2013).

Por otro lado, luego de los incendios se detecta una reducción de la estabilidad de los agregados con la reducción de MO disponible (Vellozas *et al.*, 2010). Al tener una mayor entrada de MO se propicia la formación de macroagregados y reducen la posibilidad de compactación (Oades, 1984). La estructura del suelo determina la distribución en el espacio de la materia sólida y de los espacios vacíos (o poros), algunos de los cuales están ocupados por el agua mientras que otros, los de mayor diámetro, lo están por el aire (Vellozas *et al.*, 2010), facilitando la difusión de gases y sustratos hidrosolubles (Lou & Zhou, 2006). En este sentido, las lecturas de respiración basal y mineralización de N del suelo pueden verse afectadas debido a un cierto nivel de compactación post-incendio del terreno por la falta de MO presente (Vellozas *et al.*, 2010).

Con relación al contenido de MO, los bajos niveles de MO influyen directamente en los resultados obtenidos de respiración basal, debido a que esta consiste en el desprendimiento del CO₂ producto de la mineralización de la fracción lábil de la MO por parte de los microorganismos (Anderson, 1982). También se puede atribuir estos bajos niveles de actividad microbiana se relacionan con la sensibilidad de los microorganismos a cambios bruscos de temperatura y a la modificación del microhábitat en el que se encontraban antes del incendio (Saenz, 2010).

La mineralización del nitrógeno presentó rangos entre muy bajo a bajo, de acuerdo con el índice propuesto por Castellanos (2005). El proceso de mineralización del N se encuentra relacionado principalmente con la humedad y la temperatura. La humedad, al momento de presentar disminuciones, a su vez, reduce la actividad microbiana, puesto que las tasas de mineralización e inmovilización de N están ligadas a los pulsos de precipitación y lo afectan los grandes periodos de sequias (Celaya-Michel & castellanos, 2011). Sin embargo, los niveles de humedad obtenidos fueron altos para esta zona; pero cabe resaltar que las precipitaciones son muy irregulares y las temperaturas son elevadas, por lo que estos niveles de humedad no se mantienen en el tiempo, lo cual representa condiciones de desecación y re-humedecimiento alternado, que puede resultar en una proporción mínima de mineralización, e incluso conlleva a inmovilización del N (Kruse *et al.*, 2004). Por su parte, la temperatura se relaciona con la actividad microbiana, la cual es más eficiente a partir de los 25 °C (Tejada *et al.*, 2002), donde los microorganismos tienen mejor ciclo de vida o proliferación (Monsalve, Gutiérrez & Cardona, 2017). Por otra parte, la mineralización del nitrógeno en zonas áridas también está ligado a la disponibilidad de C y N (Schaeffer *et al.*, 2003). La temperatura ambiental promedio en el municipio de repelón se encuentra 28°C, por lo que, las bajas tasas de mineralización del N fueron atribuidas a la poca disponibilidad de N total, valor evidenciado en la caracterización fisicoquímica del suelo.

El pH también se encuentra dentro de los factores que influyen en la mineralización de nitrógeno; el pH ácido y el pH alcalino afecta la reproducción de microorganismo en el suelo, los resultados presentados muestran que el suelo es moderadamente ácido siendo un factor que afecta directamente en que la mineralización de N se encuentre entre baja y moderadamente baja

en la reserva Banco Totumo Bijibana en el municipio de Repelón (Monsalve, Gutiérrez & Cardona, 2017).

Conclusiones

En la caracterización fisicoquímica del suelo de la reserva natural Banco Totumo Bijibana, se obtuvo que la textura del suelo fue franco-limosa con un color marrón oscuro (5 YR y 7.5 YR); se evidenciaron niveles bajos de MO disponible (0.703%) y Nitrógeno total (0.035%), los cuales son atribuidos a la perturbación del sustrato provocada por el incendio forestal que tuvo lugar en el año 2014 y a las características inherentes de suelos pertenecientes a zonas cálidas y áridas. Por otra parte, el pH promedio del suelo fue de 5.92 mientras que los niveles de P (62.12 mg/Kg), CIC (57.36 meq/100 g) y humedad (34.05%) mostraron niveles altos, los cual refleja un estado adecuado para la fertilidad del suelo de la reserva con respecto a estos parámetros. Por el contrario, el suelo no presenta salinidad (0.754 ppm).

Con respecto a los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y biológica, la salud del suelo de la reserva se encuentra limitada por los parámetros MO y N, los cuales consecuentemente influyen en la respiración basal (0.12 Kg/ha/d) y el nitrógeno mineralizado (5.61 Kg/ha) en el sustrato con valores bajos para este estudio.

Finalmente, se propusieron acciones de manejo para la recuperación de la MO y el estado natural del suelo afectado por los incendios forestales, con la finalidad de elevar el suministro de MO y, de esta manera, promover la actividad microbiana en los suelos de la reserva, para así, mejorar al salud del suelo. Las acciones incluyen instalación de biomallas con la finalidad de estabilizar el talud del área afectada, reforestación con especies nativas, monitoreo, medidas de prevención y conciencia mediante campañas y jornadas de educación ambiental, que permitan comunicar la prohibición de actividades o de ingreso de materiales que puedan provocar

incendios, para finalmente promover la recuperación de la salud del suelo de la reserva.

Referencias

- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J. & Segura, A. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. ACORBAT, p. 222-233. Joinville, Santa Catarina. Obtenido de Musalit.
- Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la Protección de la Materia Orgánica en Suelos. Obtenido de Repositorio académico de la Universidad de Chile:
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121065/Suelos_AGUILERA_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ajwa, H. A., Dell, C. J., & Rice, C. W. (1999). Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol 31(5), p. 769-777.
- Alcaldía municipal de Repelón. (2018). Alcaldía municipal de Repelón - Atlántico. Obtenido de <http://www.repelon-atlantico.gov.co/tema/municipio>.
- Anderson, J. P. (1983). Soil respiration. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Vol 9, p. 831-871.
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. Vol 36(5), p. 605-620.
- Bandera, R. (2013). *Rehabilitación de suelos salino-sódicos: evaluación de enmiendas y de especies forrajeras* (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).

- Benimeli, M. F., Plasencia, A., Corbella, R. D., Andina Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F. A., & Fernández de Ullivari, J. (2019). *El nitrógeno del suelo*. Obtenido de <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1563476239/module/7953478176/name/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019.pdf>
- Bernad, I., García, J., Valiño, M. & Fernández, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. *Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España.*
- Bernier, R. & Bortolameolli, G. (2000). Técnicas de Diagnóstico de Fertilidad del Suelo, Fertilización de Praderas, Cultivos y Mejoramiento de Praderas. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Centro Regional de Investigación Remehue.
- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*. Vol 36(6), p. 609-622.
- Calamba, R. (2009). *Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo, en sistemas de producción de café orgánico y tradicional en los municipios de Caldono, Morales y Piendamó en el departamento del Cauca*. Universidad nacional de Colombia – sede Palmira. Valle del Cauca.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X. & Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas (Segunda ed.). (I. d. Agrícola, Ed.) México: Intagri.
- Castellanos, J. Z., Cueto, J. A., Macías, J., Salinas, J. R., Tapia, L. M., Cortes, J. M., González, I. J., Mata, H., Mora, M., Vásquez, A., Valenzuela, C. & Enríquez, S. A. (2005). La fertilización de los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. SAGARPA, INIFAP. 44 p.

- Celaya, H. & Castellanos, A. (2011) Mineralización de Nitrógeno en el Suelo de Zonas Áridas y Semiáridas Terra Latinoamericana, vol. 29, núm. 3, pp. 343-356 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C
- Carvalho, G. O. (2010). Revisión de libro Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales (2010). *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol 83(3), 461-462.
- Chocano, C., Hernández, M., Melgares de Aguilar, J., Gonzales, D. & Garcia, C. (2008) La Actividad Microbiana como indicador de calidad del suelo en cultivos de ciruelo ecológico. VIII Congreso SEAE. Bullas, Murcia.
- Climate data. (2018). Climate-Data.org. Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/50352/>
- Cordell, D., Drangert, J.O. & White S (2009) The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Env. Change* 19: 292-305.
- Corpoguavio. (2017). Causas de la degradación de suelos por erosión en Colombia. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Guavio:
<https://www.corpoguavio.gov.co/listarticulos/ArticleId/2050/boletn-9017-causas-de-la-degradacin-de-suelos-por-erosin-en-colombia>.
- C.R.A. (2013). Corporación Autónoma Regional Atlántico. Obtenido de:
<http://www.crautonomia.gov.co/documentos/areasprotegidas/noticias/boletin%20SIDAP%20Abril.pdf>

Crosara, A. (2019). *Color del suelo*. Granada: Universidad de granada. Obtenido de:

<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%202.pdf>.

Dawson, C.J. & Hilton, J. (2011). Fertilizer availability in a resource-limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy* 36: 14-22.

Doran, J. W. & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. ELSEVIER.

Dorronsoro, C. (2020). *Introducción a la edafología*. Obtenido de Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada:

<http://www.edafologia.net/introeda/tema03/tema.htm>

El Herald. (2014). Incendios forestales acechan la Región Caribe. Obtenido de:

<https://www.elheraldo.co/local/ideam-alerta-por-riesgo-de-incendios-forestales-en-la-region-caribe-235964>

Enriqueta, M., González, J., González, F. & Ball, A. (2005). Soil health. a new challenge for microbiologists and chemists. *International Microbiology*, Vol. 8. p. 13-21.

FAO. (2005). Management of irrigation-induced salt-affected soils. Joint publication of CISEAU, IPTRID and FAO, Roma. p.34-65.

FAO. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Roma, Italia.

Obtenido de <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>

FAO. (2007). Secuestro de Carbono en Tierras Áridas. Roma. p. 18.

FAO. (2008). Land and Plant Nutrition Management Service. Obtenido de: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.

FAO. (2015). Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Obtenido de:

<http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>

FAO. (2017). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica. Obtenido de:

http://www.fao.org/ag/Ca/Training_Materials/CD27-Spanish/ba/organic_matter.pdf

FAO. (2019). Textura del suelo. Obtenido de

http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

FAO. (2019). FAO LEARNING. Obtenido de:

http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s05.htm#top

Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. San José de costa rica. Iica.

FEADER. (2014). Estudio agronómico: delimitación cartográfica, anteproyecto y estudio de costes de la zona regable de arroyo del campo. *Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural y Gobierno de Extremadura*. p. 4-63.

Florencia, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, F. and Fernández, J., 2019. *EL NITRÓGENO DEL SUELO*. Tucumán: Universidad nacional de Tucumán, pp.1-5.

Flores, L. & Alcalá, J. (2010). Manual de procedimiento analítico. Ciudad de México:

Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de:

<http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>

Galvis, A., & Hernández, T. (2004). Cálculo del nitrógeno potencialmente mineralizable. *Interciencia*. Vol 29(7), 377-383.

Guerrero, R. (2009). Fertilización de Cultivos en Clima Cálido. Bogotá: Monómeros.

Girón, Y., Oleschko, K., Jeanfrancois, P., Hernández, M., Camarillo, E. & Velázquez, J. (2009).

Análisis fractal de la reflectancia de los suelos salinos. *Agrociencia*. Vol 43. p. 403-416.

Gliessman, S. (2002). Procesos ecológicos en agricultura sostenible. *Agroecología*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Global Soil Partnership. (2018). Mapa de carbono orgánico del suelo. Obtenido de FAO:

<http://www.fao.org/documents/card/es/c/I8195ES/>

González-Briceño, F. H. (2019). Caracterización Físico-Química Y Microbiológica De Suelos Paramunos Del PNN Sumapaz Sometidos Al Cultivo Convencional Y Orgánico De Papa Post-Descanso De Actividad Agrícola.

Guerrero, P. L., Quintero, R., Espinoza, V., Benedicto, G. S., & Sánchez, M. D. (2012).

Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus. *Terra Latinoamericana*. p. 352-362.

Haruna, S. I., & Nkongolo, N. V. (2013). Variability of soil physical properties in a clay-loam soil and its implication on soil management practices. *ISRN Soil Science*, 2013.

- Hinostroza, A., Malca, J., & Suárez, L. (2016). Dinámica de la biomasa microbiana y su relación con la respiración y el nitrógeno del suelo en tierras agrícolas en el valle del Mantaro. *Ciencia y Desarrollo*. Vol 16(1), p. 17-31.
- Horneck, D. A., Sullivan, D. M., Owen, J. S. & Hart, J. M. (2015). Soil Test Interpretation Guide. Obtenido de: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/ec1478>
- IDEAM. (2002). Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, *Subdirección de Geomorfología y Suelos*. p. 44.
- IGAC. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras, Departamento del Atlántico. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto colombiano agropecuario. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación, Bogotá. 20 p. (Manual de Asistencia Técnica Np. 25).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos (Sexta ed.). Bogotá: IGAC: Imprenta nacional de Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC (2014). Sucre y Atlántico lideran el “anti-ranking” de los departamentos con más conflictos en el uso de sus suelos en el Caribe. Obtenido de:
[http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c09c6b0043e72ab79560ffd1f1265d23/Comunicado+Anti+ranking+de+suelos+Regi%C3%B3n+Caribe+-+Abril+25+\(2\).pdf?MOD=AJPERES](http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c09c6b0043e72ab79560ffd1f1265d23/Comunicado+Anti+ranking+de+suelos+Regi%C3%B3n+Caribe+-+Abril+25+(2).pdf?MOD=AJPERES)

INTAGRI. (2018). La Salud del Suelo. Serie Suelos, Núm. 37. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

Jiménez, R. & González, V. (2006). La Calidad De Suelos Como Medida Para Su Conservación. En Edafología (Vol. 13, págs. 125-138).

Karlen, D.L., Andrews, S.S. & Doran, J.W. (2001). Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, Vol (74), p. 1-40.

Kibblewhite, M.G., Ritz K. & Swift M.J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences.*; 363:685–701. doi: 10.1098/rstb.2007.2178.

Kluepfel, M. & Lippert, B. (2012). Cambiando el pH del suelo. Obtenido de Home & Garden Information Center: <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/>

Kogel, I. (2002). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as input to soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*. p. 34-139.

Kruse, J., Kissel, D.E. & Cabrera M.L. (2004). Effects of drying and rewetting on carbon and nitrogen mineralization in soils and incorporated residues. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol (3), p. 247-256.

- Li, M., Zhu, L. C., Zhang, Q. F. Cheng, X. (2012). Impacts of different land use types on soil nitrogen mineralization in Danjiangkou Reservoir Area, China. *Chin. J. Plant Ecol. Vol 36* (6), p. 530–538.
- Llorente, M., Lafuente, F. R. & Turrión, B. (2008). Uso de parámetros microbiológicos edáficos como indicadores del efecto del uso del suelo en el páramo calizo castellano-leonés. *Cuadernos de la SECF*, 25.
- Luo, Y. & Zhou, X. 2006. Soil Respiration and the Environment. Elsevier.
- Luters, J.C. & Salazar, J.P. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Buenos Aires: United States Department of Agriculture, CRN-CNIA-INTA. 88 p.
- Macias - Vásquez, F. (1993). Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas. In *Problemática geoambiental y desarrollo V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Murcia*. p. 53-74.
- MADS. (2018). La conservación y protección del suelo es otro de los logros ambientales de Colombia. Obtenido de Minambiente:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3998-la-conservacion-y-proteccion-del-suelo-es-otro-de-los-logros-ambientales-de-colombia>
- Martínez, E., Fuentes, J. P. & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, Vol 8(1), p. 68-96.
- Maroto, E. & Rogel, J. (2004). Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Geocisa. División de Protección Ambiental, Guadalajara-México*, Vol 4(5), p. 297-305.

- Meneses, D. S. (2006). Efecto de un incendio forestal sobre grupos funcionales bacterianos edáficos en una plantación de Eucaliptus cinerea (Suesca-Cundinamarca). Pontifica Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Meriño, Y., García, L., Martínez, N., & Valle, R. (2014). Biomasa y actividad microbiana de suelos de nidos de *Acromyrmex rugosus* (Formicidae: Hymenoptera) en la reserva campesina La Montaña, Atlántico, Colombia. *Entomotropica*, Vol 29(3), p. 159-171.
- Monsalve, O., Gutiérrez, J. & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. *Una revisión. Revista Colombiana de Ciências Horticolas*, Vol 11(1), p. 200-209.
- Munera, G., & Meza, D. (2012). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. *Manual. Universidad Tecnológica de Pereira*. p. 52.
- Nobel, P. (2005). Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Elsevier Academic Press.
- Oades, J.M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil*. Vol 76, p. 319–337.
- Ortiz, B. & Ortiz, C. (1990). Edafología. Editora V. Gómez Cueva, Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 394 pp
- Otero, J., Gómez, C. & Sánchez, R. (2002). Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia. Subdirección de Geomorfología y Suelos. *IDEAM*. p. 44.

- Palma, D. (2011). *Evaluación de la actividad biológica (respiración y biomasa microbiana) como indicadores de la salud de suelos ubicados en San Joaquín, Estado Carabobo* (Bachelor's thesis).
- Parkin, T.B., Doran, J.W., & Franco, E. (1996). Field and laboratory tests of soil respiration. P. 231-246. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Philippot, L., & Germon, J. C. (2005). Contribution of bacteria to initial input and cycling of nitrogen in soils. In *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*. p. 159-176
- Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Bogotá D.C.: Produmedios.
- Ramírez, Á. A., & Moreno, F. H. (2008). Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, Vol 61(1), p. 4381-4393.
- Ramos, E. & Zúñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, Vol (7), p. 1-2.
- Ramoliya, P., Patel, H. & Pandey, A. (2006). Effect of salinization of soil on growth and nutrient accumulation in seedlings of *Prosopis cineraria*. *J. Plant Nutr.* Vol (29), p. 283-303.
- Rawls, J.W. (1983). Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Science*. Vol 135 (2), p. 123-125.
- Rivera, M., Cerano, J., Trucios, R., Rios, J. C. & Estrada, J. (2012). Actualización de la frontera agrícola en los distritos de riego a nivel nacional. *AGROFAZ*. Vol 12 (3), p. 67-72.

- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay.
- Sáenz, D. (2006). Efectos de un Incendio Forestal Sobre Grupos Funcionales Bacterianos Edáficos en una Plantación de Eucaliptus Cinerea (Suesca, Cundinamarca).
- Salcedo, L. E. (2017). *Tasa anual de respiración edáfica en cuatro usos de suelo en el campus de la universidad de sucre – sede puerta roja* (Tesis de pregrado). Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Shibata, H., Galloway, J. N., Leach, A., Cattaneo, L. R., Cattell Noll, L., Erisman, J., ... Bleeker, A. (2017). Nitrogen footprints: Regional realities and options to reduce nitrogen loss to the environment. *Ambio*, 46, 129-142. doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0815-4>
- SIAC. (2012). Suelos en Colombia. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia: <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>
- Steubing, L., Godoy R. & Alberdi M. (2001). Métodos de ecología vegetal. Universitaria. Santiago, Chile.
- Stotzky G. (1965). Microbial respiration. In: Black CA (Ed), *Methods of soil analysis. Madison American Society of Agronomy Vol (2)*, p. 1551-1572.
- Schaeffer, S. M., Billings, S. A., & Evans, R. D. (2003). Responses of soil nitrogen dynamics in a Mojave Desert ecosystem to manipulations in soil carbon and nitrogen availability. *Oecologia*. Vol 134(4), p. 547-553.

- Tavarez, C. A. (2010). *Restauración ecológica del área afectada por incendio forestal en el predio "El Taray"*. Mexico D. F: Consultores Asociados en Manejo de Ecosistemas Forestales SC.
- Tejada, M., Benitez, C., & Gonzalez, J. L. (2002). Nitrogen mineralization in soil with conventional and organomineral fertilization practices. *Communications in soil science and plant analysis*. Vol 33(19-20), p. 3679-3702.
- Nardoto, G. B., & Bustamante, M. M. (2003). Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Vol 38(8), p. 955-962.
- NTC 5350. (2005). CALIDAD DEL SUELO DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE (pp. 4-5). Bogotá: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- NTC 5268 (2006). CALIDAD DEL SUELO CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (pp 4) Bogotá: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- NTC 5264. (2008). CALIDAD DEL SUELO DETERMINACION DE pH (pp 3-4). Bogotá: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Quintana, O., Blandón, J, Flores, A. & Mayorga, E. (1983). Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Latina, Nueva York. Managua. 60 pp.

- Valenzuela, I. G., Gelvez, R., Visconti, E. F. & Velasco, M. Á. (2015). Efecto del Uso y Manejo sobre la Respiración Edáfica y Biomasa. X Semana de ciencia, tecnología e innovación. Cúcuta.
- Vallejo-Quintero, V. E. (2013). Importancia y Utilidad de la Evaluación de la Calidad de Suelos Mediante Componente Microbiano: Experiencias en Sistemas Silvopastoriles. *Colombia Forestal. Vol. 16(1)*, 83-99.
- Vásquez, J. R., Macias, F., & Menjivar, J. C. (2013). Respiración del suelo en función de su uso y relación con las fracciones de carbono en los suelos de la provincia de Magdalena, Colombia. *Bioagro, Vol. 25(3)*, 175-180.
- Vellozas, T., Púa, M., Mello, E. D., & Cardozo, J. (2010). Incendios forestales y su afectación al medio ambiente, prevención y combate. *Instituto Militar de estudios superiores Escuela de Ingeniería Militar. Montevideo (Uruguay)*.